

半合管取心在纳米比亚罗辛 Z20 矿区钻探中的应用研究

童俊涛^{1,2}, 丁立奇^{2*}, 吕文军^{1,2}, 陈明², 崔朵强²

(1. 中国地质大学(武汉)卓越工程师学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中核湖南地矿科技有限公司, 湖南 长沙 410007)

摘要:针对纳米比亚罗辛 Z20 矿区地层岩性非均质性强、软硬岩互层与原生层理发育、硬质岩体易发生脆性崩解、节理裂隙密集发育等一系列钻探难题,为改善岩心采取质量、提高地质编录资料可靠程度,选取矿区 R181 破碎地层钻孔与 R239 完整地层钻孔作为试验研究对象,对比常规二重管取心工艺与半合管取心工艺在岩心采取率(RCR)、岩石质量指数(RQD)、岩心破碎指数(CFI)三项关键评价指标上的表现差异,并结合现场工程应用成效开展系统性对比分析。试验结果显示:半合管取心工艺三项核心指标均显著优于常规二重管工艺,且在破碎地层工况下优势更为明显;该工艺能够有效降低岩心二次破碎与岩心流失问题,避免岩体完整性评价结果失真,完整保存地层原生结构特征。现场规模化应用验证表明,半合管钻探工艺综合施工效果优异,项目累计完成钻探进尺 10527.37 m,全区平均岩心采取率达 95.73%,所有完工钻孔质量均被评定为优秀。研究形成的技术结论可为罗辛 Z20 矿区及国内外同类复杂裂隙地层钻探取心施工提供可靠技术参考,半合管取心工艺具备广泛推广应用前景。

关键词:破碎地层;软硬互层;半合管取心;岩心采取率;岩石质量指数;岩心破碎指数;纳米比亚

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2026)S1-0241-08

Application research on the split-tube in drilling of Rossing Z20 Mining Area, Namibia

TONG Juntao^{1,2}, DING Liqi^{2*}, LÜ Wenjun^{1,2}, CHEN Ming², CUI Duoqiang²

(1. School of excellent Engineers, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. CNNC Hunan Geological and Mining Technology Co., Ltd., Changsha Hunan 410007, China)

Abstract: Aiming at prominent drilling challenges in the Z20 Mining Area of the Rossing Deposit, Namibia, including strong lithologic heterogeneity, interbedded soft and hard rock layers, well-developed primary bedding, brittle disintegration of hard rock masses and densely distributed joints and fractures, this study intends to improve core recovery quality and enhance the reliability of geological logging data. Two boreholes in the mining area, borehole R181 in fractured strata and borehole R239 in intact strata, are selected as research objects. A systematic comparative analysis is carried out between the conventional double-tube coring technology and the split-tube coring technology, based on three key evaluation indicators: core recovery rate (RCR), rock quality designation (RQD) and core fragmentation index (CFI), combining with field engineering application effects. The test results demonstrate that the split-tube coring technology achieves remarkably superior performance in all three core indicators compared with the conventional double-tube technology, especially in the fractured strata. This technology can effectively mitigate secondary core breakage and core loss, prevent distortion in rock mass integrity evaluation, and completely preserve the primary structural characteristics of strata. Large-scale field application verification proves that the split-tube drilling

收稿日期:2026-06-24; 修回日期:2026-07-27 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.S1.029

第一作者:童俊涛,男,汉族,1990年生,博士研究生,高级工程师,钻探工程专业,长期从事铀矿钻探生产及科研项目管理,湖南省长沙市雨花区左家塘桂花路34号,tongjuntao@cnuc.cn。

通信作者:丁立奇,男,汉族,1997年生,工程师,地质工程专业,硕士,从事地质钻探相关工作,湖南省长沙市雨花区左家塘桂花路34号,18811006354@163.com。

引用格式:童俊涛,丁立奇,吕文军,等.半合管取心在纳米比亚罗辛 Z20 矿区钻探中的应用研究[J].钻探工程,2026,53(S1):241-248.

TONG Juntao, DING Liqi, LÜ Wenjun, et al. Application research on the split-tube in drilling of Rossing Z20 Mining Area, Namibia [J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1): 241-248.

technology delivers excellent comprehensive construction performance. A total drilling footage of 10527.37 m was completed, with an average core recovery rate of 95.73% across the whole mining area, and all finished boreholes were rated excellent in construction quality. The technical conclusions obtained in this research can provide reliable technical references for coring construction in the Rossing Z20 Mining Area and similar fractured complex strata at home and abroad, and the split-tube coring technology has broad prospects for popularization and application.

Key words: broken stratum; soft-hard interbedded layer; split-tube coring; core recovery rate (RCR); rock quality designation (RQD); core fragmentation index (CFI); Namibia

0 引言

纳米比亚罗辛矿区地处新元古代达马拉造山带中南段,是全球典型淡色花岗岩型铀矿床,区域多期构造、岩浆活动叠加改造,地层岩性复杂、构造破碎带广泛发育。研究区Z20区块为矿区新建露天矿规划靶区,地层以片麻岩、大理岩、石英岩与白岗岩互层为主,岩体力学性质差异悬殊,普遍存在软硬岩层频繁互层、原生层理发育、硬岩脆性破碎、节理裂隙密集等特征,钻探施工极易出现岩心破碎、流失、产状失真等问题,难以获取完整原状岩心,无法满足露天矿边坡稳定性评价、矿体精准圈定与资源量估算对高精度地质资料的需求^[1-3]。国内已形成二重管单动、三重管单动、半合管内衬取心等成套钻具体系,在离子吸附型稀土矿、浅部风化破碎金属矿区实现规模化应用,有效提升松散地层岩心采取率;但现有技术多针对风化壳、软质破碎地层开展试验,针对花岗岩变质硬岩、陡倾构造破碎带的成套工艺研究较少,且缺少定量指标对比评价体系,工艺适配性存在明显局限^[4-6]。

为解决罗辛Z20矿区岩性非均质性强、软硬互层、硬岩脆性崩解、节理裂隙发育带来的系列钻探难题,提升岩心完整性与地质资料可信度,本文选取区内破碎地层钻孔R181、完整地层钻孔R239开展现场对照试验,系统对比常规二重管与半合管两种取心工艺;以岩心采取率(RCR)、岩石质量指数(RQD)、岩心破碎指数(CFI)三项核心指标为定量评价依据,分析两类钻具在不同完整度地层中的取心效果差异,阐明半合管工艺保心机理与适用条件;形成适配罗辛花岗岩型铀矿复杂地层的半合管成套钻探工艺,为海外同类破碎变质花岗岩矿区取心钻探施工提供技术参考^[7-12]。

1 罗辛Z20矿区地质特征及钻探施工难点

1.1 矿区地质特征

罗辛Z20矿区位于纳米比亚达马拉造山带中南

带、罗辛矿区西南部,地处泛非期新元古代—早古生代构造岩浆活动区,紧邻NNE向韦尔奇亚线性构造,区域上经历D₁—D₄多期变形,以D₃期NE向褶皱与D₄期NNE向左旋走滑剪切、SE向逆冲推覆为主要构造格局。区内出露前达马拉期阿巴比斯片麻岩基底,盖层主要为新元古界达马拉群Nosib群碎屑岩与Swakop群碳酸盐岩、泥质岩,包括Khan组钙硅酸盐岩、角闪岩及Karibib大理岩、Khomash片岩等,第四系松散沉积物分布广泛^[13-15]。

1.2 钻探施工难点

(1)岩性非均质性对钻探施工的影响。罗辛矿区地层由条带状片麻岩、大理岩及大理岩-石英岩互层组成,不同岩性在空间上交替分布,力学性质差异显著。在钻探施工过程中,不同岩层之间可钻性差异较大,钻进参数难以保持稳定,易导致钻压、转速及扭矩等参数频繁调整^[16-17]。

(2)互层结构及层理发育对岩心质量的制约。矿区广泛发育大理岩与石英岩互层结构,层状构造明显。由于不同岩性之间物理力学性质差异较大,层间结合相对薄弱,在钻进扰动作用下易沿层面产生剥离、错动甚至局部破碎。在取心过程中,该类地层极易造成岩心沿层面分离,出现断裂、不连续甚至缺失现象,直接影响岩心的完整性。同时,层理结构发育使岩心在提取过程中易发生旋转或错位,导致原始产状信息受到破坏,降低地质资料的可靠性^[18]。

(3)高强度岩体脆性破坏对取心过程的影响。在条带状片麻岩等高强度岩层中,在较高钻压及扭矩作用下,岩体易产生不规则破裂,形成块状或碎裂岩心。该类破坏不仅影响钻进效率,同时也使岩心在进入岩心管过程中进一步破碎,增加岩心扰动程度,难以保持原始结构特征,对后续地质解释带来不利影响。

(4)节理裂隙发育对施工稳定性的影响。受区域构造作用控制,矿区地层中节理裂隙较为发育,

局部存在破碎带。这些不连续结构面降低了岩体整体性,使岩体在钻进过程中更易发生局部失稳。在裂隙发育地段,岩心往往呈碎块状或松散状,取心过程中易发生流失或混杂。

2 半合管取心工艺

综上所述,罗辛矿区地层呈现岩性非均质性突出、软硬岩层频繁互层、硬质岩体脆性破裂特征显著、节理裂隙广泛发育且局部构造破碎带集中分布的工程地质特点,钻探过程中钻具受力状态复杂,孔壁稳定控制难度较高;常规取心工艺获取的岩心易出现碎裂、断心、岩心流失等问题,难以完整保留地层原始连续性与原生产状信息。

矿山勘查工程中,原状岩心是开展岩性划分、构造结构面识别、矿体边界圈定及岩体质量分级评价的核心实物依据,同时为露天采场边坡稳定性验算、开采台阶参数优化提供关键基础数据。为匹配矿区复杂地层取心需求,本次勘查采用国际通用NQ、HQ标准系列三重半合管成套取心钻具:HQ型钻具对应 $\varnothing 95$ mm 钻孔口径,NQ型钻具对应 $\varnothing 76$ mm 钻孔口径。整套钻具采用外管回转、内管静止的单动三重管构型,核心配置纵向对开式半合内衬管护心组件,配套专用金刚石取心钻头、弹性三片式卡簧及精密间隙单动机构,可实现冲洗液循环通道与岩心采集通道完全分隔,从结构上消除传统二重管取心工艺中水力冲刷、机械挤压、顶推出心引发的岩心二次损伤,可满足本区软硬互层、脆性硬岩、裂隙破碎地层的高保真取心要求。综上,在该类复杂地层条件下,引入半合管护心取心工艺能够有效提升岩心完整度与原生产状保存效果,保障地质编录、岩体力学评价所需原始数据的真实性与可靠性,为露天采场整体工程设计提供坚实技术支撑。

2.1 半合管特点

半合管取心钻具结构见图1,半合管实物及配套钻头见图2、图3,半合管取心工艺有以下几个特点:

(1)结构设计独特,采用半合式可拆卸内衬管,形成三层协同结构,实现岩心全包裹防护,保障采集质量。

(2)岩心直接进入内衬管,隔离冲洗液与摩擦,降低扰动,保持原生结构、连续性与完整性,满足高

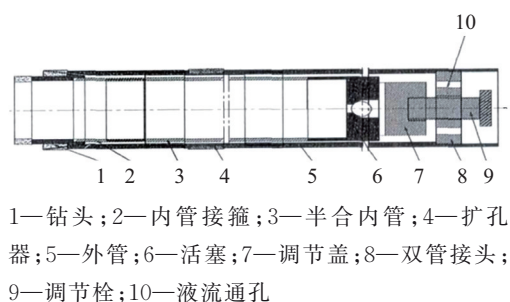


图1 半合管钻具结构示意图



图2 半合管实物

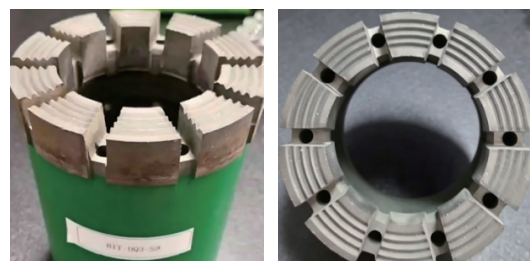


图3 半合管配套钻头

精度编录与试验要求。

(3)内衬管纵向对开,提钻后可直接拆分取出岩心,减少二次扰动,便于快速编录、拍照与取样,提升资料可靠性。

(4)内管单动结构不随外管回转,结合内衬管约束,防止岩心堵塞、崩裂与脱落,在复杂地层中实现高采取率。

(5)适用于软弱岩层、风化岩体、破碎带等难取心地层,解决常规钻具难以获取完整原状岩心的难题。

2.2 半合管取心原理

(1)单动减阻与流体隔离原理:半合管钻具通过单动机构实现内外管分离,外管回转破碎岩石,内管静止。冲洗液环空循环,避免冲刷岩心,减少侵蚀,保障原状。

(2)半合管闭合锁紧与径向承压原理:半合管对合锁紧形成圆柱内腔,钻进中在外管约束下保持

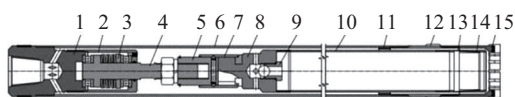
径向刚度,适配复杂破碎地层承压钻进需求。

(3)岩心捕获与原状保持原理:岩心进入静止半合管,单动与流体隔离降低扰动。卡簧与卡簧座协同捕获岩心,提钻时抱紧防止脱落。

(4)提钻断心与开管卸心原理:提钻时卡簧抱紧岩心,外管回转使岩心断裂封存。地表松开锁紧装置即可掰开半合管卸心,规避敲击带来的岩心二次破碎。

2.3 半合管与二重管取心工艺对比

二重管取心钻具结构及配套钻头见图4、图5。



1—上接头;2—轴承壳;3—垫片;4—轴;5—调节接头;6—外管;7—限位套;8—内管接头;9—阀座;10—内管;11—扶正环;12—扩孔器;13—卡簧座;14—卡簧;15—钻头

图4 二重管取心钻具结构示意图^[19]



图5 二重管取心配套钻头

(1)管体分层护心结构差异。常规单动二重管仅两层结构,无内衬防护,岩心易与内壁摩擦破碎,导致岩心流失和RQD降低、CFI升高。三重半合管增加半合内衬管,形成三层防护体系,隔离岩心与冲洗液,锁紧箍约束岩心,抑制二次破碎,提升留存率。

(2)单动机构与流体隔离结构差异。两类钻具均有单动总成,但流体隔离不同。二重管冲洗液侵入内管冲刷岩心,降低取心率。半合管通过侧喷钻头和回流阀隔离流体,冲洗液从外侧排出,避免直冲岩心;双级轴承减小振动,适应破碎地层。

(3)配套取心钻头结构差异。二重管用直通内出水钻头,间隙大易卡堵,卡簧固定易掉心。半合管用底喷阶梯钻头,缩小间隙防碾磨,弹性卡簧抱

紧岩心,减少丢心损耗。

(4)地表卸心方式对岩心完整性的影响。二重管需顶出岩心,轴向压力易压断岩心,影响RQD和CFI真实性。半合管可侧向掰开,无扰动取出岩心,保留原生结构,指标更真实。

3 试验应用及数据分析

为严格控制无关地层变量干扰,本次试验设置两组对比维度:选取地层完整性差异显著的R181破碎地层钻孔、R239完整地层钻孔开展分场景验证;试验全程统一钻机型号、钻进参数与标准化操作流程,半合管与常规二重管两种钻具分别在同一钻孔的相邻近层段开展取心作业,依托岩性、构造条件基本一致的相邻岩段构建平行对照,最大程度消除地层不均质性带来的试验误差,确保取心钻具类型为本试验唯一核心控制变量。研究采用岩心采取率、岩石质量指数、岩心破碎指数三项量化指标,结合统计分析手段量化两种钻具工艺在完整、破碎两类地层中的取心效果差异,为同类矿区钻探施工提供技术支撑。结合矿区勘查资料与现场取心实测结果(图6、图7),R181钻孔断层、裂隙极为发育,地层条件复杂;R239钻孔岩体连续完整。两孔各筛选16组有效回次数据开展对比分析,详细岩心统计结果见表1~3。



图6 钻孔R181部分岩心实物



图7 钻孔R239部分岩心实物

表 1 钻孔 R181 的岩心情况							
取心方式	样品编号	取样深度/m	岩心长度/m	≥10 cm 总长/m	RCR/%	RQD/%	CFI/(段·m ⁻¹)
常规二重管	181-1	90~93	2.03	0.97	67.67	32.33	25.18
	181-2	93~96	2.61	0.79	87.0	26.33	26.55
	181-3	96~99	2.56	0.77	85.33	25.67	27.15
	181-4	99~102	2.57	0.89	85.67	29.67	25.9
	181-5	102~105	2.57	0.87	85.67	29.0	26.38
	181-6	105~108	2.35	0.67	78.33	22.33	35.0
	181-7	108~111	1.73	0.68	57.67	22.67	34.18
	181-8	111~114	1.74	0.77	58.0	25.67	29.15
半合管	181-9	114~117	2.83	1.54	94.33	51.33	18.09
	181-10	117~120	2.74	1.63	91.33	54.33	17.88
	181-11	120~123	2.61	1.55	87.0	51.67	20.18
	181-12	123~126	2.74	1.76	91.33	58.67	16.55
	181-13	126~129	2.89	1.81	96.33	60.33	13.37
	181-14	129~132	2.78	1.17	92.67	39.0	22.38
	181-15	132~135	2.67	1.09	89.0	36.33	22.63
	181-16	135~138	2.66	1.26	88.67	42.0	25.55

表 2 钻孔 R239 的岩心情况							
取心方式	样品编号	取样深度/m	岩心长度/m	≥10 cm 总长/m	RCR/%	RQD/%	CFI/(段·m ⁻¹)
常规二重管	239-1	249~252	2.89	2.73	96.33	91.0	3.97
	239-2	252~255	2.86	2.72	95.33	90.67	3.71
	239-3	255~258	2.87	2.69	95.67	89.67	4.57
	239-4	258~261	2.75	2.66	91.67	88.67	4.62
	239-5	261~264	2.76	2.51	92.0	83.67	5.12
	239-6	264~267	2.81	2.79	93.67	93.0	3.39
	239-7	267~270	2.77	2.53	92.33	84.33	4.86
	239-8	270~273	2.71	2.69	90.33	89.67	4.69
半合管	239-9	273~276	2.94	2.71	98.0	90.33	4.54
	239-10	276~279	2.95	2.67	98.33	89.0	4.61
	239-11	279~282	3.01	2.79	100.33	93.0	3.41
	239-12	282~285	2.97	2.76	99.0	92.0	3.46
	239-13	285~288	2.99	2.83	99.67	94.33	3.35
	239-14	288~291	3.09	2.89	103.0	96.33	3.26
	239-15	291~294	2.89	2.66	96.33	88.67	4.62
	239-16	294~297	2.93	2.79	97.67	93.0	3.41

3.1 岩心采取率的对比

 钻孔 R181 及 R239 的岩心采取率对比情况见表 3。

 地层完整性对岩心采取率有决定性作用。在 R181 破碎地层,常规二重管钻具岩心采取率平均值为 75.67%,采用半合管钻具后提升至 91.33%,相对增幅达 20.70%,内衬管可对破碎岩心形成有效约

束;在 R239 钻孔完整地层段,常规二重管钻具平均 RCR 为 93.42%,半合管钻具可达 99.04%,相对增幅仅 6.02%,优化空间有限。半合管的提效增益在破碎地层被放大,在完整地层两种工艺差距微弱,半合管适配复杂破碎地层取心。

 MAE 和 s 反映数据波动。破碎地层中,常规二重管 MAE=0.1092、s=0.127,取心成果起伏剧烈;

表3 R181孔和R239孔的岩心情况

地	层	取心工艺	指标	平均值	平均绝对误差MAE	样本标准差s	变异系数CV
钻孔 R181 破碎地层		常规二重管	RCR	0.7567	0.1092	0.1270	0.1678
		半合管	RCR	0.9133	0.0233	0.0309	0.0339
		常规二重管	RQD	0.2671	0.0272	0.0345	0.1292
		半合管	RQD	0.4921	0.0757	0.0904	0.1837
		常规二重管	CFI	28.6900	0.0307	0.0383	0.1334
		半合管	CFI	19.5800	0.0311	0.0389	0.1988
钻孔 R239 完整地层		常规二重管	RCR	0.9342	0.0183	0.0217	0.0233
		半合管	RCR	0.9904	0.0147	0.0202	0.0204
		常规二重管	RQD	0.8883	0.0246	0.0325	0.0365
		半合管	RQD	0.9208	0.0231	0.0265	0.0287
		常规二重管	CFI	4.9300	0.0051	0.0061	0.1386
		半合管	CFI	3.8300	0.0057	0.0063	0.1645

半合管 $MAE=0.0233$ 、 $s=0.0309$,RCR 值聚拢,内衬管弱化地层非均质性扰动。完整地层中,两种工艺 MAE 和 s 均极低,岩心保存稳定,误差可控。破碎地层地质不均一性导致误差较大,半合管可削弱随机误差;完整地层条件均匀,两种工艺偏差都低。

CV 评价数据离散程度和工艺重复性。R181 破碎地层常规二重管 $CV=0.1678$,离散度高,数据分散,代表性不足;半合管 $CV=0.0339$,离散度下降,数据集中,重复性和可靠性提升。R239 完整地层两种工艺 CV 均低于 3%,离散水平接近且低,试验重复性优异,数据稳定可靠。

综合分析表明:(1)在破碎地层,半合管相比常规二重管显著提升 RCR,降低误差和数据离散度,优化取心质量和稳定性,工程优势突出;(2)在完整地层,常规二重管已实现高 RCR 和低波动,半合管优化有限,两种工艺差异微弱;(3)常规二重管在破碎地层平均采取率低、数据离散度高,代表性差;半合管可弥补这些缺陷,在破碎地层勘探中数据可信度更高。

3.2 岩石质量指数的对比

钻孔 R181 及 R239 的岩石质量指数对比情况见表 3。

R181 破碎地层中,常规二重管取心获得岩石质量指数平均值为 0.2671,采用半合管钻具后 RQD 均值达到 0.4921,相对增幅 84.24%,说明半合管取心工艺对破碎地层岩心完整性具备显著的保真效果;R239 钻孔完整地层段中,常规二重管钻具平均 RQD 为 0.8883,半合管钻具平均 RQD 为 0.9208,相

对增幅仅 3.66%,工艺优化空间有限。半合管优势集中于破碎地层;完整地层中两种工艺 RQD 差距微弱。

R181 破碎地层中,常规二重管 $MAE=0.0272$ 、 $s=0.0345$,波动小;半合管 $MAE=0.0757$ 、 $s=0.0904$,波动增大。这是因为常规二重管丢失破碎岩心,数据虚假集中;半合管保留全部岩心,还原非均质性。R239 完整地层中,两种工艺 MAE 和 s 均低,地质条件均匀,误差可控。

R181 破碎地层中,常规二重管 $CV=0.1292$,半合管 $CV=0.1837$,离散度更高。这不是半合管不稳定,而是常规二重管数据失真;半合管真实反映地层差异。R239 完整地层中,两种工艺 CV 均低于 0.04,半合管略低至 0.0287,离散度极低,取样稳定性优化。

综合分析表明:(1)半合管在破碎地层大幅提升 RQD 均值,在完整地层优化有限,是破碎地层的优选工艺。(2)破碎地层中,常规二重管数据虚假集中,低估破碎程度;半合管波动大但真实性更强。(3)完整地层中,两种工艺差异小,稳定性均满足要求。(4)在破碎地层,半合管的 RQD 数据工程参考价值更高。

3.3 岩心破碎指数的对比

钻孔 R181 及 R239 的岩心破碎指数对比情况见表 3。

受地层原生完整性影响,同种工艺下破碎地层 CFI 远大于完整地层,半合管护心减碎效果优于常规二重管。R181 破碎地层中,半合管内衬结构可弱

化钻具扰动,CFI均值由28.69段/m降至19.58段/m,岩心破碎降幅达31.75%。R239完整地层岩体整体性良好,两类工艺CFI数值偏低,半合管降幅22.31%,减碎效果有限,该工艺更适配破碎地层保真取样。

MAE、样本标准差 s 可表征CFI组内绝对波动。两类地层中,两种取心工艺CFI绝对误差数值相近,回次数据波动主要受地层破碎带随机分布控制。完整地层岩体均质性强,工艺扰动带来的数据偏差极小,组内试验误差整体可控。

CV分析显示,所有组CV均高于13%,属CFI固有特性。破碎地层中半合管CV更高,因完整保留破碎岩心,更真实反映地层非均质性;完整地层中两者CV差异小。

综上,半合管能有效减少岩心次生破碎,并真实记录地层破碎特征,工程应用价值高于常规二重管。

3.4 项目应用情况

在罗辛Z20矿区,通过半合管取心工艺获取的部分岩心情况见图8,可以看出,整体上岩心较为完整。



图8 半合管钻进工艺采取岩心照片

截至2026年1月31日,已完成项目岩心钻探钻孔27个,完成工作量10527.37 m,平均岩心采取率95.73%,达到质量要求,所有钻孔质量均被评定为优秀。岩心的完整性也为后续矿山工程设计模型提供了可靠的数据支撑。

4 结论

(1)半合管纵向对开内衬结构能显著降低岩心挤压、磨损、碎裂与流失,对改善丢心、断心问题作用突出,地层越破碎优势越明显。R181破碎地层中,半合管平均RCR达91.33%,较常规二重管75.67%大幅提升;R239完整地层中,半合管平均RCR为99.04%,较常规二重管93.42%提升6.02%。变异系数分析显示,半合管CV仅3.39%,取心稳定性高,而常规二重管CV达16.78%,波动剧烈。

(2)半合管可完整留存原生岩心,提升RQD评价真实性。R181破碎地层中,半合管平均RQD为49.21%,远高于常规二重管26.71%;后者数据因岩心流失而失真。R239完整地层中,半合管平均RQD为92.08%,略优于常规二重管88.83%,且变异系数更低,更贴合岩体原生状态。

(3)半合管内衬隔离结构减小钻具扰动,抑制岩体碎裂,CFI值客观反映地层破碎程度。R181破碎地层中,半合管平均CFI为19.58段/m,优于常规二重管28.69段/m;半合管CV偏高是因真实反映破碎带分布。R239完整地层中,半合管平均CFI为3.83段/m,低于常规二重管4.93段/m,能更好保留原生层理与裂隙信息。CFI变异系数偏高属固有统计特征。

(4)半合管取心工艺可系统应对罗辛Z20矿区岩性不均、互层发育、硬岩脆性破坏等钻探难点。截至2026年1月31日,矿区采用该工艺完成27个钻孔,总进尺10527.37 m,平均岩心采取率95.73%,全部被评定为优秀。岩心原始产状保存完好,解决岩心滑移、错位难题,为地质建模与开采设计提供高保真实物资料,适用于本矿区及其他类似铀矿钻探。

(5)在岩体完整、裂隙不发育地层,常规二重管可满足基础取样需求;但在节理裂隙发育、硬岩脆性破碎、多层互层复杂地层,常规二重管存在取心率低、数据失真、离散度大等短板,半合管则能兼顾高取心质量、低波动性和原生结构还原,综合可靠性与工程价值更高。

参考文献:

- [1] Bassoni J, Greenway G. The Rössing Uranium Deposit: A product of late-kinematic localization of uraniferous granites in the central zone of the Damara Orogen, Namibia[J]. Journal of African Earth Sciences, 2004, 38: 413-435.

- [2] 张子军,倪光清,瞿亮,等.半合管钻探工艺在滇东南建水普雄稀土矿床勘查中的应用[J].钻探工程,2021,48(10):62-69.
- [3] 叶兰肃,苗晓晓,王建兴,等.91单动三重半合管钻具的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):56-61.
- [4] Adebayo B, Mukoya J G M. Rock properties and machine parameters evaluation at Rössing Uranium Mine for optimum drill performance[J]. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2019,119:459-464.
- [5] Shanyengana S H, Fan H H, Xue C J, et al. An example of uraniumiferous leucogranites in the Rössing South-West Deposit, Namibia[J]. Journal of African Earth Sciences, 2020,162:103698.
- [6] Nex P A M, Herd D K, Kinnair D J A. Fluid extraction from quartz in sheeted leucogranites as a monitor to styles of uranium mineralization: An example from the Rössing Area, Namibia[J]. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2002,2:83-96.
- [7] 张庆,华健,程光华,等.松散及破碎层岩心高采取率技术研究[J].华东地质,2022,43(3):306-312.
- [8] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB50021—2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.工程岩体分级标准:GB/T 50218—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [10] Deere D U. Technical description of rock cores for engineering purposes[J]. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1964,1(1):17-22.
- [11] Deere D U. Geological Considerations[M]//Stagg K G, Zienkiewicz O C. Rock mechanics in engineering practice. New York: Wiley, 1968:120.
- [12] International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1978,15(6):319-368.
- [13] Anderson H, Nash C. Integrated lithostructural mapping of the Rössing area, Namibia using high resolution aeromagnetic, radiometric, landsat data and aerial photographs[J]. Exploration Geophysics, 1997,28:185-191.
- [14] Kinnair D J A, Nex P A M. Uranium in Africa[J]. Episodes, 2016,39(2):335-357.
- [15] Kinnair D J A, Nex P A M. A review of geological controls on uranium mineralisation in sheeted leucogranites within the Damara Orogen, Namibia[J]. Applied Earth Science, 2007,116(2):68-85.
- [16] Olsson O, Nordlund E, Andersson J. Application of borehole logging, core imaging and tomography to geotechnical exploration[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2002,39(3):325-342.
- [17] Bell T H, Johnson S E. Orienting drill core using borehole-wall image correlation[J]. Journal of Structural Geology, 2014,58:1-12.
- [18] Orpen J, Orpen D. Error-proofing diamond drilling and drill core measurements[J]. SEG Discovery, 2020,123:23-34.
- [19] 李博,刘晓阳,王琳,等.地浸砂岩型铀矿松散岩层单动双管取心钻具的研制与试验[J].铀矿地质,2024,40(1):181-188.

(编辑 王文)